

DOPA식을 이용한 장애 복구경로 설정 방안에 관한 연구

정회원 김형철*, 홍충선*, 이대영*

A Study on Restoration Path Selection Algorithm Using DOPA Formula

Hyoung Chul Kim*, Choong Seon Hong*, Dai Young Lee* *Regular Members*

요 약

ATM망에서 방대하고 다양한 자료를 신뢰성 있게 전송하기 위해서는 전송 경로설정 문제는 매우 중요한 요소 중의 하나이다. 기존의 대역폭위주의 최단거리 설정 알고리즘은 자원 이용면에서는 효율적이지 못한 단점이 있다. 특히 장애 발생 시 장애가 발생한 경로들에 대해 복구경로를 설정할 때 가능한 경로들을 계산하여 대체경로를 선택함에 있어서 여유용량에 대한 고려가 없이 경로를 설정하므로 트래픽의 집중 현상 등이 발생한다. 그러므로 본 논문에서는 여유용량에 대한 자원분배를 위하여 선형 계획법을 도입하고 네트워크에 대한 수학적 모델링을 통하여 최적의 경로를 계산하는 DOPA 식을 제안함으로써 네트워크 자원 이용면에 있어서 최적의 경로를 얻고자 한다. 따라서 트래픽의 집중을 피할 수 있으므로 네트워크의 신뢰성 향상에도 큰 효과를 얻을 수 있을 것이다.

ABSTRACT

The problem of establishing the transmission path is one of the important elements in order to transfer the enormous and various data reliably in the ATM network. Shortest-path establishment algorithm mainly based on the bandwidth is not efficient with regard to the availability of the resources. Traffic congestion can occur because the alternate paths are established without considering available bandwidth when restoration paths are selected in case of the fault. In this paper, we propose the Distributed Optimal Path Assignment(DOPA) formula that computes a optimal path through the mathematical modeling of the network by applying the linear programming in order to distribute the resources in terms of the available bandwidth so that the optimal paths are obtained in respect of the availability of the resources. And the improvement of the network reliability is efficiently accomplished by avoiding the traffic congestion.

I. 서 론

광섬유를 이용한 광통신 기술 발전과 ATM교환 기술 및 전송기술의 발전으로 인해 방대하고 다양한 정보의 초고속 전송이 가능하게 되었다. 이로 인해 정보의 전송량은 기하 급수적으로 증가하고 있으며 정보의 가치 또한 점점 중요해지고 있다^{[1][2]}. ATM망은 방대하고 다양한 정보를 초고속으로 전송할 수 있는 반면 선로의 파손이나 교환기 고장, 트

래픽의 폭주 등과 같은 망의 장애 시에는 심각한 문제를 발생시킬 수 있다. 이러한 이유로 ATM망의 신뢰성과 안정성이 요구되어지고, 이러한 문제를 해결하기 위한 여러 가지 방안들이 많이 제안되고 있다. 네트워크에서의 장애 발생 시 장애 복구 처리를 수행하게 되는 데 장애가 발생한 경로들에 대해 각각의 대체경로를 찾아서 장애를 복구하게 된다. 이때 대체 경로 설정 문제는 네트워크의 효율성 및 신뢰성을 위하여 주의 깊게 선택할 필요가 있다

* 경희대학교 전자정보학부

논문번호: 00075-0228, 접수일자: 2000년 2월 28일

※ 본 연구는 경희대학교 2000년도 교내 연구비지원으로 수행되었습니다.

[1,2,3,4]. 일반적으로 네트워크 자원의 효율성을 고려한 가상 경로를 설정하는 방법은 소스 노드에서 목적 노드까지 할당 가능한 모든 경로 중 여유 대역폭을 고려하여 최단거리를 가상 경로로 설정하는 Dijkstra방법 등을 사용하고 있다^[2,6,7,9]. 하지만 이 경우 전체적인 네트워크 자원의 효율성을 고려하지 않은 경로 설정으로 인해 노드 지연 시간의 증가와 링크 비용의 증가로 인해 네트워크의 안정성과 신뢰성뿐만 아니라 네트워크 자원의 효율성을 저하시킨다. 또한 기존의 유사한 방법을 이용한 [7]은 장애 복구 경로 설정 시 미리 각각의 연결 요구에 대해 복구등급을 할당하고 이러한 등급에 따라 여유 대역폭 할당에 대한 우선순위를 부여하여 경로를 설정하는 방법 등이 연구되었다. 그러나 이러한 방법의 경우 각각의 호에 대해 장애 발생시 복구를 위한 등급을 미리 부여한 특정 파라미터를 이용한 방법으로 일반적이지 못하다는 문제점을 가지고 있다. 또한 Gavish가 제안한 방법^[9]의 경우 하루의 시간대에 따른 전송량의 차이를 통계적 방법으로 분석하여 여유대역폭을 할당하는 방법으로 시간대에 따른 전송량의 차이를 이용한 방법이나, 향후 통신 환경은 특정 시간대에 따른 트래픽의 변화가 크지 않을 것이다. 그러므로 본 논문에서는 경로 설정 시 특정 파라미터를 이용하지 않고 여유대역폭만을 고려하여 복구경로를 설정하는 것이 아니라 사용가능 용량과 여유용량을 함께 고려함으로써 보다 더 경로가 분산되도록 하여 전체적인 네트워크 자원의 효율성을 고려한 DOPA(Distributed Optimal Path Assignment) 공식을 제시하여 네트워크의 안정성과 신뢰성을 향상시키는 방안을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 DOPA 공식은 제한된 자원을 가진 최적화 문제 해결에 도입되는 선형계획법을 이용하였다. 또한 주어진 목적함수의 최적값을 구하기 위하여 규모가 크고 복잡한 문제를 간단하고 다루기 쉬운 부분제로 만들고 이를 반복적으로 풀어 최적화된 자원을 사용한 경로를 설정하기 위하여 부분제풀이 방법을 이용하였다^[8,10].

II. DOPA공식을 이용한 효율적인 경로설정법

Dijkstra 방법을 이용한 경로 설정은 할당 가능한 경로 중 최단거리의 경로를 경로로 설정함으로써 동일하거나 유사한 경로에 대해 소수의 링크에 트래픽이 집중될 확률이 높다. 특히 장애 발생 시 복구를 위한 대체 경로들이 같은 링크에 집중되는 경

우가 빈번히 발생하고 이로 인해 새로운 트래픽에 대한 경로 설정 자체가 불가능하거나 노드에서의 지연으로 망의 신뢰성과 안정성이 저하된다. 그러므로 망의 안정성과 신뢰성을 보장하기 위해서는 전체적 망 자원의 효율적 사용이 필요하며, 일정한 수준으로 경로를 분산시킬 필요가 있다.

본 논문에서는 이러한 점을 개선하기 위하여 DOPA 공식을 적용한 장애 복구 경로 설정법을 제안하였고, 네트워크 자원 효율을 고려하여 기존 알고리즘 적용 시의 문제점인 트래픽의 집중을 피하도록 함으로써 네트워크 자원의 효율성을 향상시키므로 네트워크의 안정성과 신뢰성을 높일도록 하였다. 다음은 DOPA 공식의 수학적 모델링을 기술하였다.

1. 네트워크에 대한 수학적 모델링

제안하는 알고리즘을 위하여 사용되는 입력은 노드와 링크집합과 각 링크의 사용가능용량, 여유용량, 복구할 경로 및 가능 경로, 요구대역폭 제한 흡수 등이다. 식에서 사용할 변수들의 정의는 아래와 같다.

$L = \{l_1, l_2, l_3, \dots, l_m\}$: 네트워크내 물리링크집합

$F = \{f_1, f_2, f_3, \dots, f_j\}$: 장애가 발생한 경로집합

$P^i = \{p_1^i, p_2^i, p_3^i, \dots, p_N^i\}$: 장애가 발생한

플로우 f_i 의 가능한 대체경로집합

w_{l_m} : 링크 l_m 의 사용중인 용량

S_{l_m} : 링크 l_m 의 여유용량

t_{l_m} : 링크 l_m 의 여유용량에서 사용가능용량으로 전환되는 용량

Q_{f_i} : 플로우 f_i 의 요구용량

$X_{p_n^i}$: 플로우 f_i 가 대체경로 p_n 을 사용하면 1
그렇지 않으면 0

$\lambda_{p_n^i}$: 대체경로 p_n 이 링크 l_m 를 사용하면 1
그렇지 않으면 0

$H_{p_n^i}$: 해당경로의 흡수

H : 최대제한흡수

d'_{l_m} : 이전경로가 링크 l_m 에서 사용한용량

최적의 경로선택 문제를 해결하기 위하여 선형계획법을 도입한다^[8]. 이는 제한사항을 갖는 최적화 문제해결을 위해 수학적 함수로 표현한 수학적 프

로그래밍의 한 형태로 아래와 같은 제한조건과 목적함수를 설정한다.

제한 사항

$$\sum_{p \in P_f} X_{p_i} = 1, \quad \forall f_i \in F, n \in N \quad (1)$$

$$\sum_{f_i \in F} \sum_{p \in P_f} Q_{f_i} X_{p_i} \lambda_p^{i_n} \leq W_{i_n} - w_{i_n} + t_{i_n}, \quad \forall i_n \in L \quad (2)$$

$$X_{p_i} = 1/0, \quad \lambda_p^{i_n} = 1/0 \quad (3)$$

$$\sum_{p \in P_f} \sum_{i_n \in L} X_{p_i} \lambda_p^{i_n} \leq H \quad (4)$$

목적함수

$$Z = \min \sum_{f_i \in F} (\sum_{p \in P_f} \sum_{i_n \in L} X_{p_i} \lambda_p^{i_n} ((w_{i_n} + Q_{f_i} + d'_{i_n}) / (W_{i_n} + S_{i_n})) / H_p)$$

제한 사항 (1)식에서는 각각의 장애발생 경로들이 가능한 경로들 중 하나의 경로만이 선택되어야 함을 의미하고 식(2)는 사용 가능한 용량은 사용용량과 여유용량에서 사용가능용량으로의 변환용량과의 합보다는 같거나 작아야 한다는 것을 의미한다. 식(3)은 장애 발생에 대해 복구되어야 할 플로우 f_i 가 대체경로 P_n 을 사용하면 1을 할당하고 그렇지 않으면 0을 할당하며, 대체경로 p 가 링크 l_m 을 사용하면 1을 할당하고 그렇지 않으면 0을 할당한다. 식(4)는 플로우가 사용 가능한 대체경로 P_n 는 제한 흡수 이내여야 함을 나타낸다. 또한 트래픽의 집중을 피하고 자원을 분산시키기 위해 사용 가능한 용량과 여유 대역폭을 고려한 링크점유율과 거리비용이 최소가 되는 해를 찾는 것을 목적함수로 하여 위와 같은 제한사항에 대해 최소의 목적함수값을 가질 때의 경로선택 문제를 해결하기 위하여, 이와 같은 선형계획 문제를 해결하는 방법으로 부문제최적화(subgradient optimization)법을 이용한다^[9,10].

k_i 를 식(5)로 정의하고 앞에서 기술한 제한사항을 목적함수에 추가하여 기술하면 다음 식과 같이 된다.

$$k_i = (w_{i_n} + Q_{f_i} + d'_{i_n}) / (W_{i_n} + S_{i_n}) \quad (5)$$

라 하면 다음 식과 같이 표현된다.

$$Z = \min \sum_{f_i \in F} (\sum_{p \in P_f} \sum_{i_n \in L} X_{p_i} \lambda_p^{i_n} k_i) H_p + \sum_{i_n \in L} (a_{i_n} \sum_{f_i \in F} \sum_{p \in P_f} Q_{f_i} X_{p_i} \lambda_p^{i_n} - a_{i_n} (W_{i_n} - w_{i_n} + t_{i_n}) + \sum_{i_n \in L} (\beta_{i_n} \sum_{f_i \in F} \sum_{p \in P_f} X_{p_i} \lambda_p^{i_n} - \beta_{i_n} H)$$

위 식에서 a_{i_n}, β_{i_n} 는 제한사항을 위한 승수이다. 위 식은 두가지 요소로 구분된다.

$$Z = \min (\sum_{f_i \in F} Z_{f_i} - \sum_{i_n \in L} Z_{i_n})$$

$$Z_{f_i} = (\sum_{p \in P_f} \sum_{i_n \in L} X_{p_i} \lambda_p^{i_n} k_i) / H_p + \sum_{i_n \in L} (a_{i_n} \sum_{p \in P_f} Q_{f_i} X_{p_i} \lambda_p^{i_n} + \sum_{i_n \in L} \beta_{i_n} \sum_{p \in P_f} X_{p_i} \lambda_p^{i_n})$$

$$Z_{i_n} = a_{i_n} (W_{i_n} - w_{i_n} + t_{i_n}) + \beta_{i_n} H$$

위의 Z가 최소가 되는 값은 Z_{f_i} 가 최소값을 가지는 경우이다.

선택된 경로에 대한 Z_{f_i} 값은 $X_{p_i} = 1$ 인 경우이므로

$$Z_{f_i} = \sum_{i_n \in L} \lambda_p^{i_n} k_i / H_p + \sum_{i_n \in L} a_{i_n} Q_{f_i} \lambda_p^{i_n} + \sum_{i_n \in L} \beta_{i_n} \lambda_p^{i_n}$$

이다.

각각의 장애경로에 대해 연산하며 반복 연산 시 사용되는 승수를 변화시킴으로써 최적의 값을 얻는다. 승수의 갱신은 다음식에 의한다.

$$a_{i_n}^{j+1} = a_{i_n}^j + d_j a_{i_n}$$

$$\beta_{i_n}^{j+1} = \beta_{i_n}^j + d_j \beta_{i_n}$$

$$y a_{i_n} = \sum_{f_i \in F} \sum_{p \in P_f} Q_{f_i} X_{p_i} \lambda_p^{i_n} - W_{i_n} + w_{i_n} - t_{i_n}$$

$$y \beta_{i_n} = \sum_{p \in P_f} \sum_{i_n \in L} X_{p_i} \lambda_p^{i_n} - H$$

$$d_j = (\bar{Z} - Z(a_{i_n}^j, \beta_{i_n}^j)) / |g|^2$$

$$|g| = \sqrt{ \sum_{i_n \in L} (y a_{i_n})^2 + \sum_{i_n \in L} (y \beta_{i_n})^2 }$$

\bar{Z} 는 j회 반복 후 최소 Z값이고 $Z(a_{i_n}^j, \beta_{i_n}^j)$ 는 j번째의 Z값이다.

2. DOPA 식을 이용한 경로 설정

장애가 발생한 경로들에 대해 복구를 위한 대체

경로 설정방법은 위의 부문제를 반복적 연산을 통하여 제한사항의 자원을 변경함으로써 최소의 값을 구하여 최적의 경로를 얻을 수 있다. 구체적인 알고리즘 수행 절차는 다음과 같다.

- a. set iteration counter $j=0$
- b. if $j > \text{Max_Iter_Num}$ then quit
- c. solve Z
- d. for each path which has the lowest value Z
- e. update multiplier
- f. counter $j++$ goto step b

Ⅲ. 모의 실험 및 성능평가

제안 방법의 성능을 평가하기 위하여 여유 대역폭을 고려한 Dijkstra 방법의 기존 경로설정 알고리즘과 DOPA공식을 이용한 제안 경로 설정 알고리즘의 성능을 평가하였다. 실험에 사용된 네트워크 모델은 11개의 노드와 23개의 링크를 가지는 LATA 네트워크^[5]를 구성하였고, 경로설정 시 사용된 VP는 20개이고 기존의 총 경로는 20개이다. 노드를 거치면서 생기는 지연시간은 1 msec로 설정하였다. 가상경로가 지날 수 있는 최대 노드 수는 5개이다. 위와 같은 실험 파라메타를 가지고 기존알고리즘과 제안 알고리즘인 DOPA 공식을 이용한 분산 경로 설정법에 대한 성능을 평가하였다.

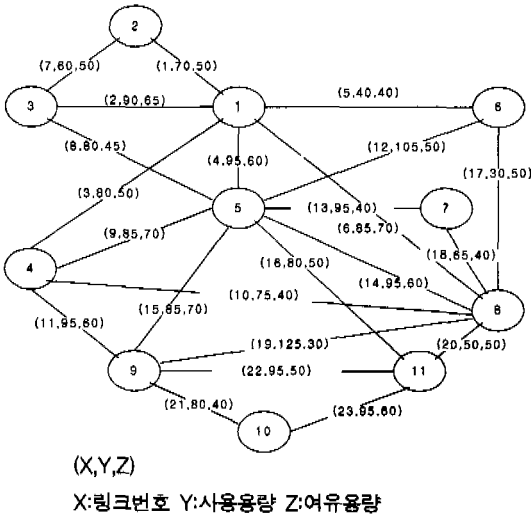


그림 1. 실험 네트워크

표1은 노드1과 노드8사이인 링크 1에서 장애가 발생한 경우 복구되어야 할 경로들을 나타냈고 표2

에서는 각 반복연산 시 대체경로의 변화와 최종 결정된 대체경로를 나타냈다.

표 1. 장애가 발생한 경로

F	Source Node	Destination Node	Traffic	Current Path
f_1	2	11	30	2-1-5-11
f_2	2	9	25	2-1-5-9
f_3	11	3	15	11-5-1-3
f_4	8	2	15	8-5-1-2
f_5	1	7	20	1-5-7

표 2. 반복 연산시 경로 변화

F	1 회	2 회	3 회	4 회
f_1	2-1-8-11	2-1-8-11	2-1-8-11	2-1-6-8-11
f_2	2-1-4-9	2-1-4-9	2-3-5-9	2-3-5-9
f_3	11-5-3	11-8-1-3	11-8-1-3	11-5-3
f_4	8-1-2	8-1-2	8-6-1-2	8-1-2
f_5	1-3-5-7	1-6-8-7	1-8-7	1-6-8-7

표 3. 링크 점유율변화

F	1 회		결정	
	경로	링크 점유율	경로	링크 점유율
f_1	2-1-8-11	63.4	2-1-6-8-11	50.0
f_2	2-1-4-9	75.2	2-3-5-9	94.5
f_3	11-5-3	61.2	11-5-3	61.2
f_4	8-1-2	62.9	8-1-2	62.9
f_5	1-3-5-7	69.8	1-6-8-7	41.9

표2와 표3에서1회는 기존의 방법에서 결정되는 경로와 동일하고 제안식을 이용한 경로 설정 시, 표3에서와 같이 각 링크의 점유율을 일반적으로 선택되는 대체경로와 제안 식을 이용한 결과 선택되는 경로의 링크 점유율을 비교하였다. 링크의 점유율은 표에서와 같이 전체적으로 많이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 복구경로들의 초기 링크점유율은 평균66.5%인데 반해 DOPA식에 의해 선택된 경로에 대한 평균 링크점유율은 56.1%로 약 16%정도 감소하고 홑 수는 거의 변화가 없으므로 자원의 분산이 이루어졌음을 알 수 있다.

그림2는 링크전체의 점유율 변화를 나타냈다 링크 8에서와 같이 점유율이 현저히 낮은 링크에 대해 복구경로를 설정하고 또한 경로들이 집중되어 있는 링크 1의 경우는 점유율이 낮은 다른 링크로 경로들이 분산되므로 망에 트래픽의 편중이 많이

줄어들어 자원의 분산이 이루어졌음을 보여준다.

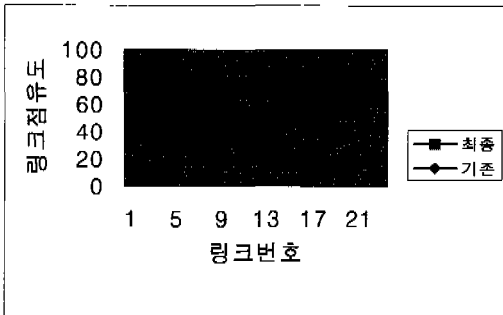


그림 2. 링크별 점유율

IV. 결론 및 향후 연구과제

기존 알고리즘에 의한 장애 복구 경로 설정법은 장애 발생 시 최단 경로설정법에 의한 복구 경로들이 인접 링크에 집중되는 현상이 발생하므로 트래픽의 집중으로 인한 네트워크의 신뢰성 확보에도 효과적이지 못한 문제가 있고 단순히 복구를 위한 여유대역폭 위주의 경로 설정의 경우 자원을 효율적으로 이용하지 못하는 단점이 있다. 그러나 제안하는 경로설정법의 경우 여유용량과 복구를 위한 여유용량을 효과적으로 이용함으로써 각 링크에 대한 자원이용의 편중을 막으며 링크의 여유용량을 적절히 분배함으로써 기존의 평균링크 점유율이 약 16%정도 낮춤으로써 네트워크 전체의 자원이용의 효율성을 향상시키는 것이 가능하였다. 또한 규모가 더 크고 복구해야 할 경로가 더 많은 경우에는 더욱 효율적인 결과를 얻을 수 있을 것이다. 하지만 제안 알고리즘은 복구 경로 설정 시 네트워크 자원의 효율적인 사용을 고려한 최적의 경로를 검색하기 위해 반복적인 연산에 의한 경로 설정 시간이 증가하는 문제점을 가지고 있다. 향후 제한적 반복법을 통한 경로 설정시간의 단축을 연구하여야 할 것이다.

참고 문헌

[1] Paul Ferguson and Geoff Huston, "Quality of Service", Wiley, 1998.
 [2] Gunter Bolch, Stefan Greiner, Hermann de Meer and Kishor S.Trivedi, "Queueing Networks and Markov Chain", Wiley, 1998.
 [3] George Apostolopoulos, Roch Guerin, Sanjay

Kamat, Satish K. Tripathi, "Quality of Service Routing: A Performance Perspective" Computer Communication review, V.24 N.4, Aug. 1998.

[4] S.D. Kirkby, S.E.P. Pollitt, P.W. Eklund, "Implementing a Shortest Path Algorithm in a 3D Environment", Proceedings of the 7th International Symposium on Spatial Data Handling, Volume 1, Aug. 1996.
 [5] Dennis J.Pai, Henry L.Owen, "An Algorithm for Bandwidth Management with Survivability Constraints in ATM Networks" Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Communications, Volume 1/3, July, 1997.
 [6] Larry L. Peterson and Bruce S.Davie, "Computer Networks : A System Approach", Morgan Kaufmann, 1996
 [7] Debasis Mitra, John A. Morrison, K.G.R-amak-rishnan, "Virtual Private Networks: Joint Resource Allocation And Routing Design", Proceedings of the IEEE INFOCOM'99, Volume 2, 480-490, Mar. 1999
 [8] Michel Minoux, Mathematical Programmings : Theory and Algorithms, Wiley, 1986
 [9] I. Nuuman, B. Gavish, Capacity and Flow Assignment in Large Computer Networks, IEEE INFOCOM, 1:275-284, Aug. 1986.
 [10] M. held, P. Wolfe and H. Crowder, Validation of subgradient optimization, Mathematical Programming, vol.6, 62-88, 1974.

김형철(Hyoungeul Kim) 정회원
 한국통신학회지 제 24권 12호 참조

홍승선(Choong Seon Hong) 정회원
 1983년: 경희대학교 전자공학과 졸업(학사)
 1985년: 경희대학교 전자공학과 (공학석사)
 1997년: 게이오대학교 정보통신 공학과(공학박사)

1988년~1999년: 한국통신 통신망 연구소 선임 연구원 / 네트워크연구실장

1999년~현재: 경희대학교 전자정보학부 조교수
<주관심 분야> 인터넷 서비스 및 망 관리 구조, 분산
컴포넌트관리, IP 프로토콜, 멀티미디어스트
리밍등

이 대 영(Dai Young Lee)

정회원



1964년: 서울대 물리학과 졸업
(학사)

1971년: 캘리포니아 주립대학원
컴퓨터학과(공학석사)

1979년: 연세대학교 전자공학과
(공학 박사)

1971년~현재: 경희대학교 전자정보학부 교수

1990년~1993년: 경희대학교 산업정보대학원
대학원장

1999년~2000년: 한국통신학회 회장

<주관심 분야> 영상처리, 컴퓨터 네트워크, 컴퓨터 시
스템